

V-35

変位法と応力法による連続合成桁のクリープ・乾燥収縮解析

秋田大学 学 生 員 ○松塚 忠政
秋田大学 学 生 員 石 倉 誉志
秋田大学 フェロー 川 上 洵

1. まえがき

任意形断面を有する連続合成桁等の不静定構造物におけるコンクリートのクリープ・乾燥収縮解析を変位法及び応力法で行い、応力分布を解析的に求めるものである。

2. クリープ・乾燥収縮によるひずみ及び応力の変化

合成桁の断面内の鋼材によりクリープ・乾燥収縮が拘束されることにより生じる応力の変化とひずみの変化を求める。軸力及び応力は引張りとなるものを正、曲げモーメントは部材下縁に引張り応力を生じるものを正とする。解析においては弾性理論の仮定に従う。

図-1より基準点から任意の距離 y の点におけるひずみは

$$\varepsilon_y = \varepsilon_0 + \psi y$$

材齢 $t = t_0$ で荷重が載荷され、断面力 $N(t_0)$, $M(t_0)$ が作用した時の軸ひずみと曲率の変化 $\varepsilon_0(t_0)$, $\psi(t_0)$ は

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_0(t_0) \\ \psi(t_0) \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_c(t_0)(AI - G^2)} \begin{bmatrix} I & -G \\ -G & A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N(t_0) \\ M(t_0) \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

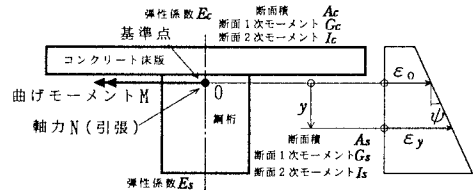


図-1 ひずみ分布

ここで、 A, G, I は材齢 $t = t_0$ での換算断面諸量

時間依存性解析をするにあたりクリープ係数を ϕ 、材令係数を χ 、コンクリートのみの断面諸量を A_c, G_c, I_c とおきコンクリートの材令修正弾性係数 $\overline{E}_c$ を用いるとクリープと乾燥収縮を拘束する軸力と曲げモーメントは

$$\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_{cc} = -\overline{E}_c \phi \begin{bmatrix} A_c & G_c \\ G_c & I_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_0(t_0) \\ \psi(t_0) \end{Bmatrix} \quad \dots (2) \quad \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_{cs} = -\overline{E}_c \varepsilon_{cs} \begin{Bmatrix} A_c \\ G_c \end{Bmatrix} \quad \dots (3) \quad \overline{E}_c = \frac{E_c(t_0)}{1 + \chi \phi}$$

またコンクリートの拘束応力 σ_{res} は $\sigma_{res} = -\overline{E}_c \phi [\varepsilon_0(t_0) + \psi(t_0)y] - \overline{E}_c \varepsilon_{cs}$

コンクリートに生じるクリープ・乾燥収縮による軸ひずみ、曲率の変化は拘束断面力を解除することにより式(4)から、応力の変化は式(5)から求められる。

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_{0cs} \\ \Delta \psi_{cs} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\overline{E}_c(\overline{A}\overline{I} - \overline{G}^2)} \begin{bmatrix} \overline{I} & -\overline{G} \\ -\overline{G} & \overline{A} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\Delta N \\ -\Delta M \end{Bmatrix} \quad \dots (4) \quad \begin{cases} \text{コンクリート部} & \Delta \sigma_c = \sigma_{res} + \overline{E}_c (\Delta \varepsilon_{0cs} + \Delta \psi_{cs}y) \\ \text{鋼桁部} & \Delta \sigma_s = E_s (\Delta \varepsilon_{0cs} + \Delta \psi_{cs}y) \end{cases} \quad \dots (5)$$

ここで、 $\overline{A}, \overline{G}, \overline{I}$ はコンクリートの弾性係数を材令修正弾性係数とした材令修正換算断面諸量である。

3. 変位法によるクリープ・乾燥収縮解析

不静定構造物に生じるクリープ・乾燥収縮による不静定力の経時変化を変位法により次の手順に従って求める。

- 1) 部材の両端に生じる節点力の正負を図-2に示す方向に再定義する。
- 2) 材齢 $t = t_0$ での換算断面図心に関する断面諸量を求め、変位及び節点力を変位法によって求める。さらに各節点の材齢 $t = t_0$ における軸ひずみと曲率の変化を式(1)から求める。
- 3) 材令修正換算断面図心に関する断面諸量を求め、規準軸を材令修正換算断面図心に移動する。そして式(3)～式(4)から各節点におけるクリープ・乾燥収縮による軸ひずみと曲率の変化を求める。
- 4) 軸ひずみと曲率の変化が図-2のように放物線分布すると仮定すると次式からコンクリートのクリープ・乾燥収縮による等価節点力が求められる。

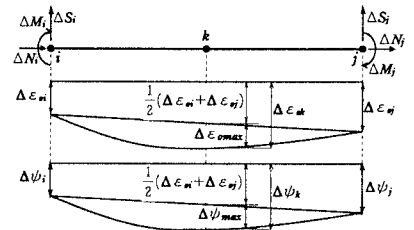


図-2 軸ひずみ及び曲率の変化

$$\begin{cases} \Delta N_i = -\Delta N_j = -\frac{\overline{E_c} \bar{A}}{6} \left(\frac{1}{6} \Delta \varepsilon_{\alpha i} + \frac{2}{3} \Delta \varepsilon_{\alpha k} + \frac{1}{6} \Delta \varepsilon_{\alpha j} \right) & \Delta M_i = \frac{\overline{E_c} \bar{I}}{3} \left(\frac{2}{3} \Delta \psi_i + \frac{2}{3} \Delta \psi_k - \frac{1}{3} \Delta \psi_j \right) \\ \Delta M_j = \frac{\overline{E_c} \bar{I}}{3} \left(\frac{1}{3} \Delta \psi_i - \frac{2}{3} \Delta \psi_k - \frac{2}{3} \Delta \psi_j \right) & \Delta S_i = -\Delta S_j = -\frac{1}{l} (\Delta M_i + \Delta M_j) = -\frac{\overline{E_c} \bar{I}}{l} (\Delta \psi_i - \Delta \psi_j) \end{cases}$$

5) 4) で各部材ごとに求めた等価節点力を用いて次式で表される要素剛性方程式をたてる

$$\{f\} = [\bar{k}] \{d\} - \{f_e\} \cdots (6)$$

ここで、 $\{f\}$: 外力ベクトル, $\{d\}$: 変位ベクトル, $\{f_e\}$: 等価節点力ベクトル,

$[\bar{k}]$: 材齢修正弾性係数、材齢修正換算断面諸量を用いた剛性マトリックス

こうして求めた要素剛性方程式を各節点ごとに重ね合わせて未知変位 $\{d\}$ について解き、式(6)に代入することにより各部材の各節点に作用する節点力 $\{f\}$ を求める。

6) 5) で求めた節点力はクリープ・乾燥収縮による不静定力の変化であるから6) で求められた不静定力による応力と式(5)を重ね合わせるによりクリープ・乾燥収縮による応力変化を求める。

4. 応力法によるクリープ・乾燥収縮解析

不静定構造物に生じるクリープ・乾燥収縮による不静定力の経時変化を応力法により次の手順に従って行う。

1) 材齢 $t=t_0$ で載荷された荷重による断面力を応力法で求める。

2) 不静定力を除去した静定基本系を設定する (図-3 a))。

3) 1) で求めた断面力から式(1)~(4)によりクリープ・乾燥収縮による軸ひずみと曲率の変化を求める。

4) 3) で求めたクリープ・乾燥収縮による軸ひずみと曲率の変化から変位 $\{D\}$ を求める (図-3 b))。

5) 静定基本系に外力 $F=1$ を作用させ、各支点におけるたわみ係数

図-3 応力法による連続桁の解析

を求め、たわみ性マトリックス $\{f\}$ をつくる (図-3 c), d))。

6) 次式の適合方程式を解くことにより変位の連続性を保つために必要な不静定力 $\{F\}$ を決定する。

$$\{f\} \{F\} = -\{D\}$$

7) 6) で求めた不静定力による応力図と式(5)を重ね合わせるによりクリープ・乾燥収縮による応力分布が得られ、変位は4) で求めた静定基本系での変位 $\{D\}$ と不静定力 $\{F\}$ による変位を重ね合わせて得られる。

5. 数値計算例

図-4、図-5に示す断面の2径間連続合成桁に材齢 $t=t_0$ で等分布荷重 $q=4.8\text{kgf/cm}$ が作用し、期間 $(t-t_0)$ でコンクリート床版部にクリープ・乾燥収縮が生じる。材齢 $t=t$ での中間支点上の応力分布を求める。

材齢 $t=t_0$ で中間支点に生じる断面力は曲げモーメントは

$$M(t_0) = -864 \times 10^3 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

クリープ・乾燥収縮による中間支点での不静定力の増加は

$$\Delta M = -941.5 \times 10^3 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

クリープ・乾燥収縮により生じる応力分布を図-5に示す。

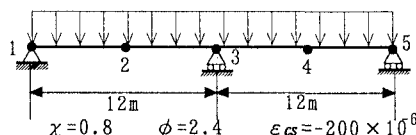
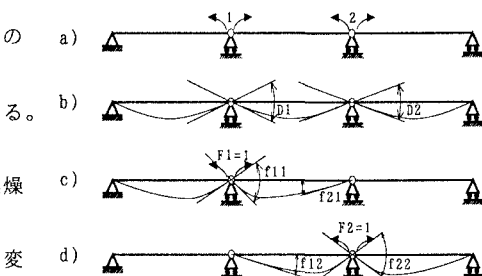
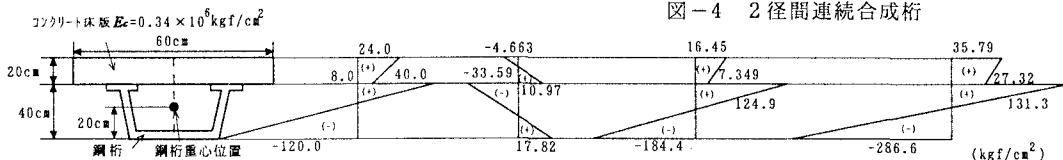


図-4 2径間連続合成桁



鋼桁断面諸量 $E_s=1.7 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ 材齢 $t=t_0$ での応力分布 クリープ・乾燥収縮の クリープ・乾燥収縮に 材齢 $t=t$ での応力分布
 $A_s=480\text{cm}^2$ $I_s=64000\text{cm}^4$ 断面内での拘束により 生じる不静定力 生じる応力分布

図-5 中間支点部での応力分布